

10/085,204



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-050171

[ST.10/C]:

[JP2001-050171]

出 願 人

Applicant(s):

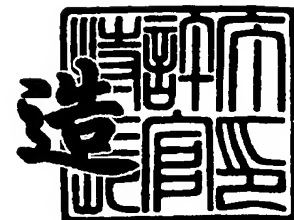
株式会社リコー



2002年 5月14日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3035033

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100532

【提出日】 平成13年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/42

【発明の名称】 長波長帯面発光レーザ素子を用いた光通信システム

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
株式会社リコー内

【氏名】 宮垣 一也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
株式会社リコー内

【氏名】 桜井 彰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
株式会社リコー内

【氏名】 加藤 正良

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
株式会社リコー内

【氏名】 古田 輝幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
株式会社リコー内

【氏名】 金井 健

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 和多田 篤行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 鈴木 幸栄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 菅原 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 新治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 曳地 秀一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 関谷 卓朗

【特許出願人】

【識別番号】 000006747

【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代表者】 桜井 正光

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003724

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プールの可否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 長波長帯面発光レーザ素子を用いた光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、
該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 2$$

であることを特徴とする光通信システム。

【請求項2】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再カ

ップリング防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、

該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 2$$

であることを特徴とする光通信システム。

【請求項 3】 前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバが近接して配置され、該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$0.5 \leq F/d \leq 2$$

であることを特徴とする請求項 1、2 に記載の光通信システム。

【請求項 4】 前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバの間にレンズもしくはレンズ系が配置され、かつ、該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 1$$

であることを特徴とする請求項 1、2 に記載の光通信システム。

【請求項 5】 前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバがアレイ状に配列されたことを特徴とする請求項 3 に記載の光通信システム。

【請求項 6】 前記発光型半導体レーザ素子チップと、レンズもしくはレンズ系と、光ファイバがアレイ状に配列されたことを特徴とする請求項 4 に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光通信などに用いられる半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、中でも半導体レーザとして製作に使用する半導体基板面に対して垂直方向に光を発するいわゆる面発光レーザを用い複数のレーザ素子を形成して、大容量の通信を可能にした光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

面発光半導体レーザは、基板の表面から垂直方向にレーザ光を放射するので2次元並列集積が可能であり、更に、その出力光の広がり角が比較的狭い（10度前後）ので光ファイバとのカップリングが容易であるほか、素子の検査が容易であるという特徴を有している。そのため、特に、並列伝送型の光送信モジュール（光インタコネクション装置）を構成するのに適した素子として開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間やボード間の並列接続のほか、短距離の光ファイバ通信であるが、将来の期待される応用として大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系がある。

【0003】

一般に、面発光半導体レーザは、GaAs 又はGaInAs からなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部の半導体分布ブラッグ反射鏡と基板側の下部の半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成するのが普通であるが、端面発光型半導体レーザの場合に比較して光共振器の長さが著しく短いため、反射鏡の反射率を極めて高い値（99%以上）に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常は、AlAs からなる低屈折率材料とGaAs からなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

【0004】

ところで上記のように、光通信に使用されるようなレーザ波長が1.1 μm 以上の長波長帯レーザ、例えばレーザ波長が1.3 μm 帯や1.55 μm 帯であるような長波長帯レーザは、製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられるが、基板のInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とする必要がある。またInP基板上に形成される半導体レーザには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する点がある。そのため、温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、民生用等一般用に供することが困難であり、このような積層数

と温度特性の問題から、実用的な長波長帯面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

【0005】

このような問題を解決するためになされた発明として、特開平9-237942号公報に開示されたものが知られている。それによると、製作基板としてGaAs基板を用い、基板側の下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用い、さらに、下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈折率層にGaInNAsからなる半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を得るようにし、少ない積層数で高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡を実現しようというものである。

【0006】

また、GaInNAsを活性層の材料として使用している。これは、N組成を増加させることによってバンドギャップ（禁制帯幅）を1.4 eVから0 eVへ向かって低下させることができるので、0.85 μ mよりも長い波長を発光する材料として用いることが可能となるからである。しかもGaAs基板と格子整合が可能なので、GaInNAsからなる半導体層は、1.3 μ m帯及び1.55 μ m帯の長波長帯面発光半導体レーザのための材料として好ましい点についても言及している。

【0007】

しかしながら、従来は0.85 μ mよりも長い波長帯の面発光半導体レーザ実現の可能性を示唆するにとどまっているだけであり、実際にはそのようなものは実現していない。これは基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明だからである。

【0008】

一例を挙げると、上記のようにAlAsからなる低屈折率材料とGaAsからなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したものや、あるいは特開平9-237942号公

報に開示されたもののよう、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用いたものにおいては、レーザ素子が全く発光しなかったり、あるいは、発光してもその発光効率が低く、実用レベルには程遠いものであった。これは、Alを含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Alに起因する結晶欠陥が生じ易いためである。これを解決するためには、特開平8-340146号公報や特開平7-307525号公報に開示された発明のようにAlを含まないGaInNPとGaAsとから半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する提案がある。しかしながらGaInNPとGaAsとの屈折率差はAlAsとGaAsとの屈折率差に比べて約半分であり、反射鏡の積層数を非常に多くなり製作が困難となる。

【0009】

すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで光ファイバ通信が期待されているが、それに使用できるレーザ波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信システムが存在せず、その出現が切望されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

本発明はこのような光通信などに用いられるレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、その第1の目的は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ光が光ファイバに高効率にカップリングできることを可能とする光通信システムを提案することにある。

【0011】

また第2の目的は、安定して使用できるレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ光が光ファイバに高効率にカップリングできることを可能とする光通信システムを提案することにある。

【0012】

さらに第3の目的は、このような光通信システムにおいて、レーザと光ファイバを直接カップリングした場合に高効率にカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる光通信システムを提案することにある。

【0013】

また第4の目的は、このような光通信システムにおいて、レンズもしくはレンズ系によるレーザと光ファイバとのカップリングする場合に高効率にカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる光通信システムを提案することにある。

【0014】

また第5の目的は、このような光通信システムにおいて、効率良くカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる大容量の光通信システムを提案することにある。

【0015】

また第6の目的は、このような光通信システムにおいて、さらに高効率で、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる大容量の光通信システムを提案することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明は前記目的を達成するために第1に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小

と大の間の値をとる材料層 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、
前記レーザチップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 2$$

であるようにした。

【0017】

また第2に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素が Ga 、 In 、 N 、 As からなる層、もしくは Ga 、 In 、 As よりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料は $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間に $GaInP$ もしくは $GaInPAs$ よりなる非発光再カップリング防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記レーザチップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 2$$

であるようにした。

【0018】

さらに第3に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバが近接して配置され、該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$0.5 \leq F/d \leq 2$$

であるようにした。

【0019】

また第4に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバの間にレンズもしくはレンズ系が配置され、かつ、該面発光型半導体レーザ素子チップの光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、

$$F/d \leq 1$$

であるようにした。

【0020】

また第5に、上記第3の光通信システムにおいて、前記発光型半導体レーザ素子チップと光ファイバがアレイ状に配列し、対応するレーザの光出射部に内接する円の直径 d と光ファイバのコア直径 F がそれぞれ

$$0.5 \leq F/d \leq 2$$

であるようにした。

【0021】

また第6に、上記第4の光通信システムにおいて、前記発光型半導体レーザ素子チップと、レンズもしくはレンズ系と、光ファイバがアレイ状に配列し、対応するレーザの光出射部に内接する円の直径 d と光ファイバのコア直径 F がそれぞれ

$$F/d \leq 1$$

であるようにした。

【0022】

【発明の実施の形態】

最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子である伝送ロスの少ないレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの1例について図1を用いて説明する。

【0023】

前述のように、従来は本発明が適用しようとしているレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料、ならびにより具体的、詳細な構成は不明であ

った。本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用し、さらに具体的な構成を明確にした。以下にそれを詳述する。

【0024】

本発明では、面方位(100)のn-GaAs基板の上に、それぞれの媒質内における発振波長 λ の1/4倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)で $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$) (低屈折率層～屈折率小の層)と $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0$) (高屈折率層～屈折率大の層)を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡(AlAs/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

【0025】

そしてその上にアンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(20nm)からなる多重量子井戸活性層と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長 λ の1波長分の厚さ(λ の厚さ)の共振器を形成している。

【0026】

さらにその上に、C(炭素)ドープの $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層とZnドープ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)をそれぞれの媒質内における発振波長 λ の1/4倍の厚さで交互に積層した周期構造(1周期)を積層し、その上にCドープの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)とZnドープ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)をそれぞれの媒質内における発振波長 λ の1/4倍の厚さで交互に積層した周期構造(25周期)とからなる半導体分布ブラッグ反射鏡($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成している。この例では $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

【0027】

なおここで、上部/下部反射鏡ともそれぞれ低屈折率層(屈折率小の層)/高

屈折率層（屈折率大の層）を交互に積層して形成するが、本発明ではこれらの間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けている。図 2 は、低屈折率層（屈折率小の層）と高屈折率層（屈折率大の層）の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けた半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を示したものである（図 1 では図が複雑になるので図示することを省略している）。

【 0 0 2 8 】

従来レーザ波長が $0.85 \mu m$ 帯の半導体レーザに関して、このような材料層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料、あるいはその厚さなどまで詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては全く検討されていない。その理由はこの分野（レーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザ）が新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからである。

【 0 0 2 9 】

本発明者はいち早くこの分野（レーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信）の有用性に気づき、それを実現するために鋭意検討を行った。

【 0 0 3 0 】

このような材料層は形成時にガス流量をコントロールするなどして、その Al 組成を連続的もしくは段階的に変えるようにしてその材料層の屈折率が連続的もしくは段階的に変化するようにして形成する。

【 0 0 3 1 】

より具体的には、 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層の z の値を 0 から 1.0 まで変わるように、つまり $GaAs \sim AlGaAs \sim AlAs$ という具合に Al と Ga の比率が徐々に変わるようにして形成する。これは前述のように層形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。また、 Al と Ga の比率が前述のように連続的に変わるようにして形成しても良いし、段階的にその比率が変わるようにしても同等の効果がある。

【0032】

このような材料層を設ける理由は、半導体分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の一つである p-半導体分布ブラッグ反射鏡の電気抵抗が高いという課題を解決するためである。これは半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する 2 種類の半導体層の界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第に Al 組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

【0033】

またこのような屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) は本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの場合、 $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ の厚さとするのが良く、これより薄いと抵抗が大となり電流が流れにくく、素子が発熱したり、駆動エネルギーが高くなるという不具合がある。また厚いと抵抗が小となり、素子の発熱や、駆動エネルギーの面で有利になるが、今度は反射率がとれないという不具合があり、前述のように最適の範囲 ($5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ の厚さ) を選ぶ必要がある。

【0034】

なお、前述のように従来のレーザ波長が $0.85 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザに関してこのような材料層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの場合は、より効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率 (例えば 99.5% 以上) を得るためには、 $0.85 \mu\text{m}$ 帯よりも $1.1 \mu\text{m}$ 帯 $\sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の場合、このような材料層を約 2 倍程度にすることができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができ、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動の面で有利となる。

【0035】

つまり半導体分布ブラッグ反射鏡にこのような材料層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レー

ザの場合に特に効果的な工夫といえる。

【0036】

なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例えば $1.3\ \mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$) (低屈折率層～屈折率小の層) と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0$) (高屈折率層～屈折率大の層) を 20 周期積層した場合においては、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が 99.7% 以下となる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層の厚さは 30 nm である。また、反射率が 99.5% 以上となる波長帯域は 53 nm であり、反射率を 99.5% 以上と設計した場合、 $\pm 2\%$ の膜厚制御ができればよい。そこでこれと同等およびこれより薄い、10 nm、20 nm、30 nm のものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができた $1.3\ \mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子を実現、レーザ発振に成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

【0037】

なお多層膜反射鏡においては設計波長 (膜厚制御が完全にできたとして) を含んで反射率の高い帯域がある。高反射率の帯域 (反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域を含む) と呼ぶ。設計波長の反射率が最も高く、波長が離れるにしたがってごくわずかなずつ低下している領域である。ある領域から急激に低下する。そして狙いの波長に対して必要な反射率以上となるように、本来、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には $\pm 1\%$ 程度の膜厚誤差は生じるので狙いの波長と最も反射率の高い波長はずれてしまう。例えば狙いの波長が $1.3\ \mu\text{m}$ の場合、膜厚制御が 1% ずれたとき、最も反射率の高い波長は 13 nm ずれてしまう。よってこの高反射率の帯域 (ここでは反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域) は広い方が望ましい。しかし中間層を厚くするとこの帯域が狭くなる傾向にある。

【0038】

このように本発明のようなレーザ発振波長が $1.1\ \mu\text{m} \sim 1.7\ \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザにおいて、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を

工夫、最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動が可能となる。

【0039】

再び図1に戻り、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 (p-コンタクト層) としての役割も持っている。

【0040】

ここで、量子井戸活性層の In 組成 x は 39% ($\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$) とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。なお量子井戸活性層は、GaAs 基板に対して約 2.8% の圧縮歪を有していた。

【0041】

またこの面発光型半導体レーザ全体の成長方法は MOCVD 法で行った。この場合、格子緩和は見られなかった。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG (トリメチルガリウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 AsH_3 (アルシン)、 PH_3 (フォスフィン) を用いた。また、キャリアガスには H_2 を用いた。図1に示した素子の活性層 (量子井戸活性層) のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。ここでは、 GaInAs 層 (量子井戸活性層) は 550°C で成長させている。ここで使用した MOCVD 法は過飽和度が高く高歪活性層の結晶成長に適している。また MBE 法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0042】

またこの例では、電流経路外の部分をプロトン (H^+) 照射によって絶縁層 (高抵抗部) を作って、電流狭さく部を形成した。

【0043】

そしてこの例では、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている p-コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極を形成し、基板の裏面に n 側電極を形成した。

【0044】

この例では、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再カップリングする活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内にはAlを含んだ材料（III族に占める割合が1%以上）を用いず、さらに、下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）の非発光再カップリング防止層としている。キャリアは、活性層に最も近くワイドギャップである上部及び下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみをAlを含まない層（III族に占める割合が1%以下）で構成しても活性領域に接する反射鏡の低屈折率層（ワイドギャップ層）にAlを含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再カップリングする時、この界面で非発光再カップリングが生じ発光効率は低下してしまう。よって活性領域はAlを含まない層で構成することが望ましい。

【0045】

この例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成としたので、キャリア注入時にAlに起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再カップリングがなくなり、非発光再カップリングが低減した。

【0046】

前述のように、反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成とする、すなわち非発光再カップリング防止層を設けることを、上下反射鏡ともに適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。また前述の例では、反射鏡低屈折率層の最も活性層に近い層のみを $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）の非発光再カップリング防止層としているが、複数層の $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）を非発光再カップリング防止層としても良い。

【0047】

さらにこの例では、GaAs基板と活性層との間の下部反射鏡にこの考えを適

用し、活性層の成長時に問題となる、Alに起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。これらにより、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をAlを含まない $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができている。

【0048】

このようにして製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約 $1.2\mu\text{m}$ であった。 GaAs 基板上の GaInAs は、In組成の増加で長波長化するが歪み量の増加をとめない、従来 $1.1\mu\text{m}$ までが長波長化の限界と考えられていた（文献「IEEE Photonics Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照）。

【0049】

しかしながら今回発明者が製作したように、 600°C 以下の低温成長などの非平衡度の高い成長法により高歪の GaInAs 量子井戸活性層を従来より厚くコヒーレント成長することが可能となり、波長は $1.2\mu\text{m}$ まで到達できた。なおこの波長はSi半導体基板に対して透明である。従ってSi基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップにおいてSi基板を通した光伝送が可能となる。

【0050】

以上の説明より明らかなようにIn組成が大きい高圧縮歪の GaInAs を活性層に用いることにより、 GaAs 基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できることがわかった。

【0051】

なお前述のように、このような面発光型半導体レーザは、MOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として、3重量子井戸構造（TQW）の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造（SQW、MQW）等を用いることもできる。

【0052】

レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は λ の厚さとしたが $\lambda/2$ の整数倍とすることができる。望ましくは λ の整数倍である。また半導体基板としてGaAsを用いた例を示したが、InPなどの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

【0053】

なおこの例では活性層として、主たる元素がGa、In、Asよりなる層、すなわち $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ (GaInAs活性層)の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、Nを添加し主たる元素がGa、In、N、Asからなる層 (GaInNAs活性層) とすればよい。

【0054】

実際にGaInNAs活性層の組成を変えることにより、1.3 μm 帯、1.55 μm 帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。組成を検討することにより、さらに長波長の例えば1.7 μm 帯の面発光レーザも可能となる。

【0055】

また、活性層にGaAsSbを用いてもGaAs基板上に1.3 μm 帯面発光レーザを実現できる。このように波長1.1 μm ~1.7 μm の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ、非発光再カップリング防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長1.1 μm ~1.7 μm 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

【0056】

次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長帯面発光型半導体レーザの他の構成について、図3を用いて説明する。

【0057】

この場合も図1の場合と同様に面方位(100)のn-GaAs基板を使用している。それぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)で $\text{n-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)と $\text{n-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡 ($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As/GaAs}$ 下

部反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層となっている。

【0058】

そしてその上に、アンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{As}_{1-y}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(15nm)から構成される多重量子井戸活性層(この例では3重量子井戸(TQW))と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長の1波長分の厚さ(λ の厚さ)の共振器を形成している。

【0059】

さらにその上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)が形成されている。

【0060】

上部反射鏡は、被選択酸化層となるAlAs層を、GaInP層とAlGaAs層で挟んだ $3\lambda/4$ の厚さの低屈折率層(厚さが($\lambda/4-15\text{nm}$))のCドープ $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層、Cドープ $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$)被選択酸化層(厚さ30nm)、厚さが($2\lambda/4-15\text{nm}$)のCドープ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層($x=0.9$)と、厚さが $\lambda/4$ のGaAs層(1周期)と、Cドープの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層($x=0.9$)と $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)層をそれぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(22周期)とから構成されている半導体分布ブラッグ反射鏡($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部反射鏡)である。

【0061】

なおこの例においても、図3では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡の構造は、図2に示したような低屈折率層(屈折率小の層)と高屈折率層(屈折率大の層)の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$)を設けたものである。

【0062】

そして、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)層は、電極とコンタクト

を取るためのコンタクト層（p-コンタクト層）としての役割も持たせている。

【0063】

ここで量子井戸活性層のIn組成 x は37%、N（窒素）組成は0.5%とした。また量子井戸活性層の厚さは7nmとした。

【0064】

またこの面発光型半導体レーザの成長方法はMOCVD法で行った。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 AsH_3 （アルシン）、 PH_3 （フォスフィン）、そして窒素の原料にはDMHy（ジメチルヒドラジン）を用いた。DMHyは低温で分解するので600℃以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには H_2 を用いた。

【0065】

またこの例では、GaInNAs層（量子井戸活性層）は540℃で成長した。MOCVD法は過飽和度が高くNと他のV族を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0066】

さらにこの例では、所定の大きさのメサ部分を $p-Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $x=0.5$ 、 $y=1$ ）層に達するまで、 $p-Al_zGa_{1-z}As$ （ $z=1$ ）被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた $Al_zGa_{1-z}As$ （ $z=1$ ）層を水蒸気で側面から酸化して Al_xO_y 電流狭さく層を形成している。

【0067】

最後にポリイミド（絶縁膜）でメサエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去し、p-コンタクト層上に光出射部を除いてp側電極を形成し、GaAs基板の裏面にn側電極を形成した。

【0068】

この例においては、被選択酸化層の下部に上部反射鏡の一部として $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）層が挿入している。例えばウェットエ

ツチングの場合では、硫酸系エッチャントを用いれば、AlGaAs系に対してGaInPAs系はエッチング停止層として用いることができるため、 $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層が挿入されていることで、選択酸化のためのメサエッチングの高さを厳密に制御できる。このため、均一性、再現性を高められ、低コスト化が図れる。

【0069】

またこの例の面発光型半導体レーザ（素子）を一次元または二次元に集積した場合、素子製作時における制御性が良好になることにより、アレイ内の各素子の素子特性の均一性、再現性も極めて良好になるという効果がある。

【0070】

なおこの例では、エッチングストップ層を兼ねる $Ga_xIn_{1-x}P_yAs$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層を上部反射鏡側に設けたが、下部反射鏡側に設けても良い。

【0071】

またこの例においても、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再カップリングする活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内にはAlを含んだ材料を用いず、さらに下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) の非発光再カップリング防止層としている。つまりこの例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に、Alを含まない構成としているので、キャリア注入時に、Alに起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再カップリングを低減させることができる。

【0072】

なお反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成を、この例のように上下反射鏡に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

【0073】

さらにこの例でも、GaAs 基板と活性層との間の下部反射鏡に図 1 の例の場合と同様の考えを適用したので、活性層の成長時に問題となる Al に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。

【0074】

なお、このような非発光再カップリング防止層は、図 1、図 3 のいずれの構成においても半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を構成するので、その厚さは、媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ ($\lambda/4$ の厚さ) としている。あるいはそれを複数層も設けても良い。

【0075】

以上の説明より明らかなように、このような構成により、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を Al を含まない $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) の非発光再カップリング防止層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができた。

【0076】

またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、配線（この例では p 側電極）が段切れしにくく、素子の信頼性は高いものが得られる。

【0077】

このように製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約 $1.3 \mu\text{m}$ であった。

【0078】

この例では、主たる元素が Ga、In、N、As からなる層を活性層に用いた (GaInNAs 活性層) ので、GaAs 基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できた。また Al と As を主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。

【0079】

被選択酸化層を選択酸化したAl酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。更に酸化してAl酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減できる。また容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0080】

以上の説明から明らかなように図3のような構成においても図1の場合と同様に、1.3 μm 帯の面発光型半導体レーザを実現でき、しかも低消費電力で低コストの素子が得られる。

【0081】

なお、図3の面発光型半導体レーザも図1の場合と同様にMOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また窒素の原料に、DMHyを用いたが、活性化した窒素や NH_3 等他の窒素化合物を用いることもできる。

【0082】

さらに活性層の積層構造として3重量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW、DQW、MQW)等を用いることもできる。レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

【0083】

また図3の面発光型半導体レーザにおいて、GaInNAs活性層の組成を変えることで、1.55 μm 帯、更にはもっと長波長の1.7 μm 帯の面発光型半導体レーザも可能となる。GaInNAs活性層にTl、Sb、Pなど他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層にGaAsSbを用いても、GaAs基板上に1.3 μm 帯の面発光型半導体レーザを実現できる。

【0084】

なお活性層にGaInAsを用いた場合、従来1.1 μm までが長波長化の限界と考えられていたが、600℃以下の低温成長により高歪のGaInAs量子

井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、波長は $1.2\mu\text{m}$ まで到達できる。このように、波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ非発光再カップリング防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになり、光通信システムへの応用ができるようになった。

【0085】

図4はこのような長波長帯面発光半導体レーザ素子を、面方位(100)のn-GaAsウエハに多数のチップとして形成した例、ならびにレーザ素子チップを示したものである。ここで示したレーザ素子チップには、 $1\sim n$ 個のレーザ素子が形成されているが、その個数 n はその用途に応じて、数ならびに配列方法が決められる。

【0086】

図5は長波長帯面発光半導体レーザを用いた光通信システムの一例であり、面発光レーザ51と光ファイバ51Wで構成される。図5では面発光レーザと光ファイバが直接カップリングされているが、レンズもしくはレンズ系を用いたカップリングでも良い。面発光レーザ51の光出射部51Wの直径を d とし、光ファイバ12のコア直径を F とする。光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする。面発光レーザからのレーザ光は図5の点線(51B)のように発散していく。ただし、端面発光型レーザの広がり角に比べれば小さい。図5の様に面発光レーザと光ファイバを近接させた場合、光軸が光ファイバ端面に垂直で端面の中心を通過して光ファイバ端面位置でコア直径とほぼ同程度であればカップリング効率を最も高くできる。

【0087】

実施例に用いる面発光レーザは前述の通り波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯であるが、特に $1.3\mu\text{m}$ 帯や $1.55\mu\text{m}$ 帯を用いれば、石英ファイバでの内部損失が小さいため、長距離伝送に適する。面発光レーザ51の光出射部51Wの直径を d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）とし、光フ

ファイバ52のコア直径をFとしたとき、F、dの比は、

$$F/d \leq 2 \quad \dots (式1)$$

とすることによってカップリング効率を高くすることができる。

【0088】

(直接カップリング)

次に、レーザと光ファイバを直接カップリングさせる事を前提とした一実施例について図5を使って説明する。

【0089】

従来では1.3 μ m帯などの端面発光レーザで光ファイバへ直接カップリングするとカップリング効率が低く、さらに、光ファイバからの戻り光の影響でレーザ発振状態が変動するといった短所があった。しかし、本発明では面発光レーザを用いるためビーム形状は円形にすることができ、その広がり角に異方性はない。このためカップリング効率は端面型レーザよりも高くなる。さらに、面発光型レーザには反射率の非常に高い反射膜が施されているため、戻り光の影響をほとんど受けない。このため直接カップリングが可能になる。したがって、従来ではレーザに戻り光が戻らないように光アイソレータを用いていたが、面発光レーザを使用することによって光アイソレータを省略することができる。

【0090】

面発光型レーザの光出射部の直径をd（光出射部が多角形の場合には内接する円の直径をdとする）、光ファイバのコア直径をFとすると、

$$0.5 \leq F/d \leq 2 \quad \dots (式2)$$

の範囲となるように設定するとカップリング効率を高くできる。この範囲の理由について次に詳細に述べる。

【0091】

表1に、筆者らが面発光レーザと単一モード光ファイバとのカップリング損失を調べた結果を示す。表1は直接カップリングの場合である。面発光レーザの光出射部がコア直径よりも大きくなるとカップリング効率が減少していくが、 $d \leq 2F$ （すなわち、 $0.5 \leq F/d$ ）であればカップリング損失は3～5 dB以内に抑えられる。また、光出射部の大きさがコア直径よりも小さいとき、光出射部

に内接する円の直径と波長で決まるレーザビームの広がり角が単一モード光ファイバに単一モードでカップリングできるNA（開口率）以下のとき高効率にカップリングできる。例えばコア直径 $10\mu\text{m}$ で、コアの屈折率1.4469、クラッドの屈折率1.4435とし、レーザ波長 $1.3\mu\text{m}$ とすれば単一モードでカップリング可能なNAは0.0995になる。このNAに対応する光出射部の直径は約 $6.5\mu\text{m}$ である。しかし、 $6.5\mu\text{m}$ 以下でも例えば $5\mu\text{m}$ 程度であればカップリングの損失は3～5dBに抑えられる。 $d \geq 0.5F$ （すなわち、 $F/d \leq 2$ ）であればよい。以上より、面発光レーザと光ファイバを直接カップリングさせる場合には、

$$0.5 \leq F/d \leq 2 \quad \dots (\text{式} 2)$$

の範囲となるように設定するとカップリング損失を比較的小さくでき、効率良くカップリングできる。なお、本実施例では単一モード光ファイバを用いたが、多モード光ファイバや、テーパ付き導光路を介して単一モード光ファイバへカップリングさせたとしても式2の関係を保てば同様の効果が得られる。

【0092】

【表1】

F/d	カップリング損失 [dB]	性能
0.4	>5	×
0.5	3～5	○
0.65	1	○
2.0	3～5	○
2.2	>5	×

【0093】

（カップリングレンズを用いた場合）

図6に、面発光レーザとカップリングレンズと光ファイバを用いた光通信システムを示す。面発光レーザ51と単一モード光ファイバ52の間にカップリングレンズ53が配置される。カップリングレンズは単レンズであっても、複数枚のレンズを組み合わせたレンズ系であっても良い。単レンズで構成するには、好ましくは面発光レーザの出射部の近くにレンズ53が配置されたほうが良い。

【0094】

カップリングレンズのレンズパワー（もしくは焦点距離）を選ぶことによって光出射部の直径 d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）は光ファイバのコア直径以上にしてもカップリング損失を小さく抑える事が可能になる。例えば、コア直径を $10\ \mu\text{m}$ とし、光出射部の直径が $20\ \mu\text{m}$ としたとき、レンズによってビーム径を $1/2$ にする必要がある。レンズの焦点距離を f 、レーザ波長を λ （ $=1.3\ \mu\text{m}$ ）、光出射部の半径を ω_0 （ $=10\ \mu\text{m}$ ）、屈折率 n （ $=1$ ）とすると、

【0095】

【数1】

$$\frac{\frac{\lambda f}{\pi \omega_0^2 n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda f}{\pi \omega_0^2 n}\right)^2}} = \frac{5}{10}$$

をみたす f を求めれば良い。このとき焦点距離 f は約 $140\ \mu\text{m}$ となる。

【0096】

カップリングレンズを用いる場合、光出射部の直径を d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）、光ファイバのコア直径を F とすると、 $d \geq F$ 、すなわち、

$$F/d \leq 1 \quad \dots (\text{式3})$$

であれば効率良く光ファイバにカップリングできる。

【0097】

【表2】

F/d	カップリング損失 [dB]	性能
1.2	> 5	×
1.0	3~5	○
0.8	1	○

【0098】

図6ではカップリングレンズを1枚のレンズで構成したが、複数のレンズによるレンズ系を構成しても良い。たとえば、図7に2枚のレンズでカップリングさ

せる一実施例を示す。第1のレンズ54と第2のレンズ53でレーザ光を光ファイバにカップリングさせる。第1のレンズ54によって、面発光レーザ51の光出射部51Wからの発散光を第2のレンズ53に向けて収束させ、第2のレンズ面でビームウエストとなる。第2のレンズは図6のレンズ53と同じはたらきをする。1枚のレンズをレーザの光出射部の近傍に置けない場合や、レーザ光の広がり角が大きくて光ファイバへのカップリング効率が小さくなる場合には、レンズを複数枚で構成すればカップリング効率を高くすることができる。

【0099】

なお、本実施例では単一モード光ファイバを用いたが、多モード光ファイバや、テーパ付き導光路を介して単一モード光ファイバへカップリングさせたとしても式3の関係を保てば同様の効果が得られる。

【0100】

従来の端面発光型レーザを用いた場合ではカップリングレンズからの戻り光によってレーザ発振状態が変動を受けることがあり、これを避けるには光アイソレータが必要であった。しかし、面発光レーザを使用すると、光反射率の反射膜を使用しているため戻り光の影響をほとんど受けないため光アイソレータが不要である。

【0101】

(光ファイバアレイの場合)

図8は面発光レーザアレイと光ファイバアレイで構成される実施例を説明する図である。面発光レーザ51は図8のように光出射部をアレイ状にしても、面発光素子自体をアレイ状に配列しても良い。さらには、レーザ素子チップを複数並べてアレイ状にしても良い。図8では対応する光出射部51Wと光ファイバ52が直接カップリングされているので、前述の図5での説明のように、光出射部に内接する円の直径 d と光ファイバのコア直径 F の関係を式2の範囲となるように設定するとカップリング損失を比較的小さくでき、効率良くカップリングできる。これらがアレイ状に配列されるため、光利用効率が高く情報量の大きい光通信システムが構築できる。

【0102】

図9は面発光レーザアレイとカップリングレンズアレイと光ファイバアレイで構成される実施例を説明する図である。面発光レーザ51は図9のように光出射部をアレイ状にしても、面発光素子自体をアレイ状に配列しても良い。図9では対応する光出射部51Wとレンズアレイの一つのレンズ要素と光ファイバ52の関係は、図6の説明と同じである。すなわち、光出射部の直径 d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）と光ファイバのコア直径 F の関係を式3とすれば効率良くカップリングができる。これらがアレイ状に配列されるため、光利用効率が高く情報量の大きい光通信システムが構築できる。なお、本実施例ではレンズアレイ55を1枚使用しているが、レンズアレイを複数枚利用しても良い。

【0103】

アレイ状で光通信システムを構築する場合、従来の端面発光型レーザアレイでは戻り光の影響を避けるには光アイソレータアレイが必要であったが、本発明では面発光レーザを用いるため戻り光の影響をほとんど受けないため光アイソレータアレイを使用する必要はない。このため、低コストな光通信システムである。

【0104】

【発明の効果】

請求項1に対応した効果

コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光型半導体レーザおよびそれを用いた光通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0105】

さらに、従来 $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の端面発光型レーザと単一モード光ファイバとのカップリングを高効率にするにはレーザの光出射部の形状やカップリングレンズ系などを工夫しなければならなかったが、本発明の面発光レーザを

用いると同帯域において単一モード光ファイバへ高効率でカップリングすることができる光通信システムが実現できた。

【0106】

請求項2に対応した効果

コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、安定して使用できる長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信システムが存在しなかったが、本発明のように、非発光再カップリング防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップとすることにより安定した発振が可能となり、これを発光光源とした実用的な光通信システムが実現できた。

【0107】

さらに、従来 $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の端面発光型レーザと単一モード光ファイバとのカップリングを高効率にするにはレーザの光出射部の形状やカップリングレンズ系などを工夫しなければならなかったが、本発明の面発光レーザを用いると同帯域において単一モード光ファイバへ高効率でカップリングすることができる光通信システムが実現できた。

【0108】

請求項3に対応した効果

このような光通信システムにおいて、レーザと光ファイバを直接カップリングした場合に高効率にカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる光通信システムを実現できた。

【0109】

請求項4に対応した効果

このような光通信システムにおいて、レンズもしくはレンズ系によるレーザと光ファイバとのカップリングする場合に高効率にカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となる光通信システムを実現できた。

【0110】

請求項5に対応した効果

このような光通信システムにおいて、レーザアレイと光ファイバアレイとをカップリングする場合、効率良くカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となり、さらに、複数の発光素子を用いるので情報量の大きい低コストな光通信システムを実現できた。

【0111】

請求項6に対応した効果

このような光通信システムにおいて、レーザアレイとレンズアレイ光ファイバアレイとをカップリングする場合、さらに高効率にカップリングでき、かつ、光アイソレータを用いることなく安定したカップリングが可能となり、さらに、複数の発光素子を用いるので情報量の大きい低コストな光通信システムを実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの素子部断面図である。

【図2】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成の部分断面図である。

【図3】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの他の構成の素子部断面図である。

【図4】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図5】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子と光ファイバを用いて直接カップリングさせた光通信システムの図である。

【図6】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子とカップリングレ

ンズと光ファイバを用いた光通信システムの図である。

【図 7】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子と 2 枚構成のカップリングレンズと光ファイバを用いた光通信システムの図である。

【図 8】

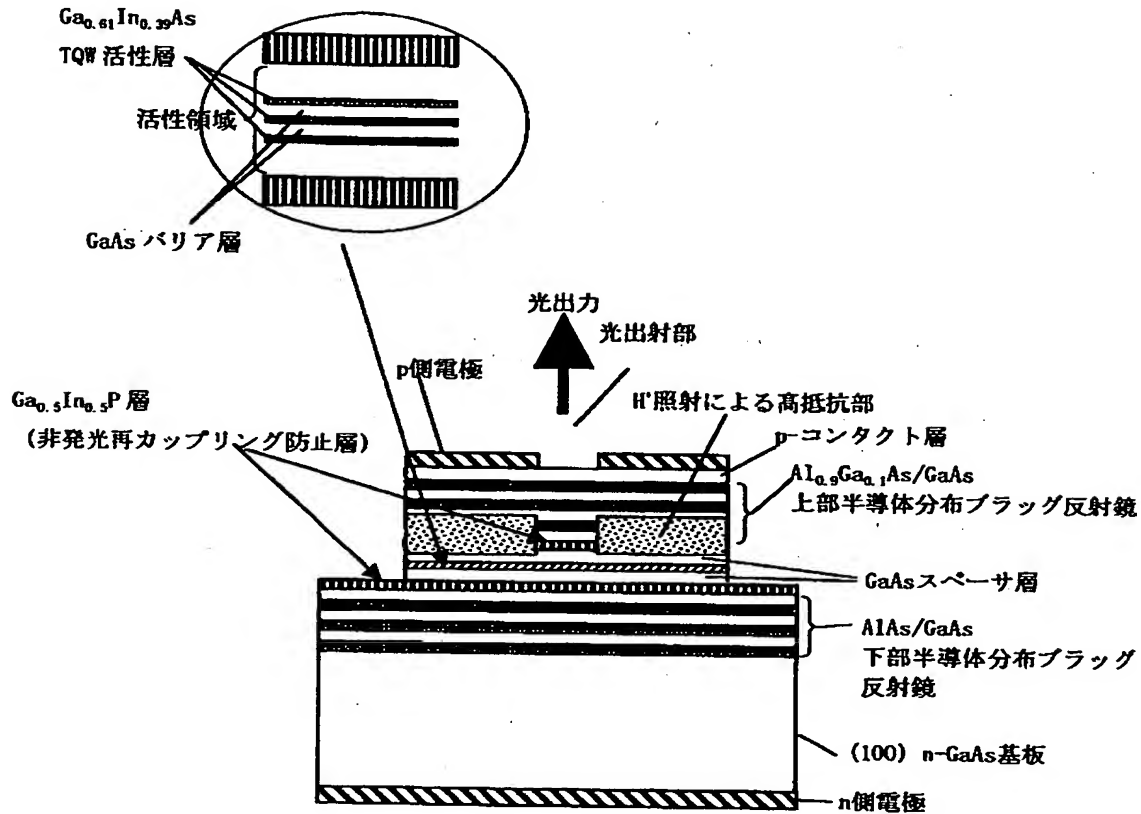
本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子と光ファイバアレイを用いた光通信システムの図である。

【図 9】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子とレンズアレイと光ファイバアレイを用いた光通信システムの図である。

【書類名】 図面

【図 1】

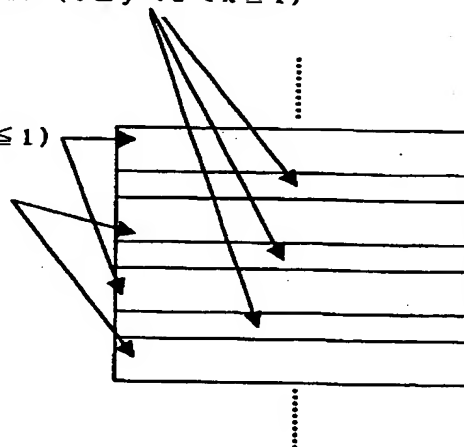


【図 2】

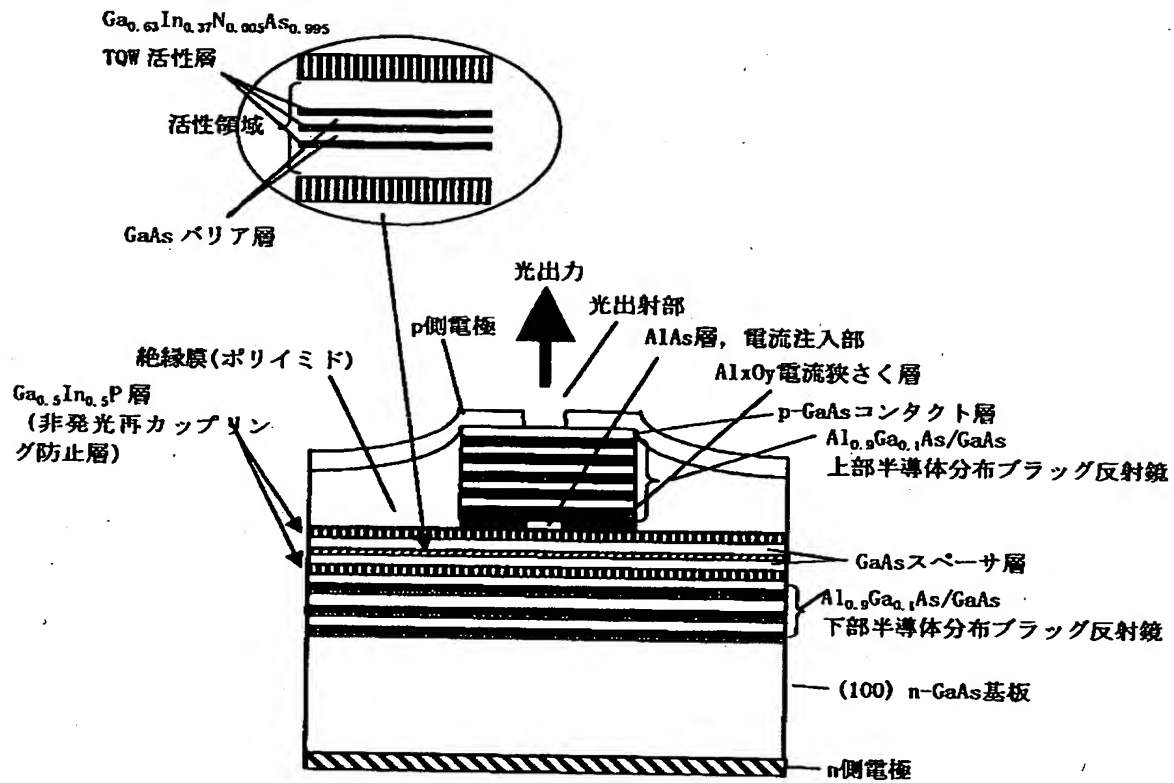
屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$)

屈折率が大の材料層 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$)

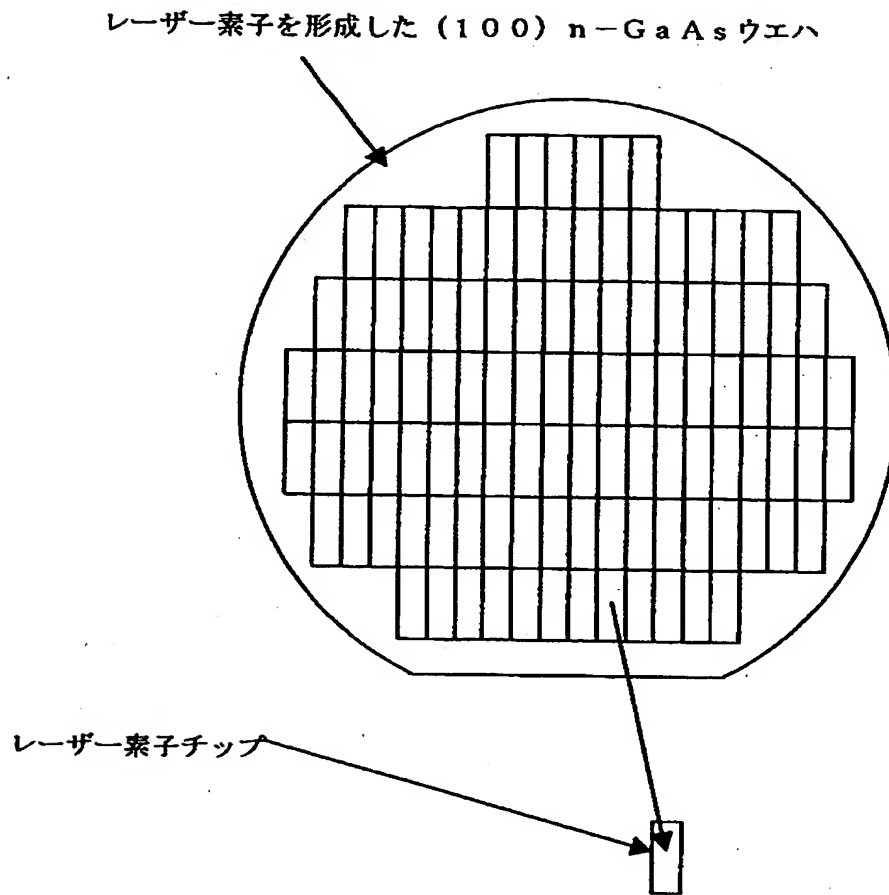
屈折率が小の材料層 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$)



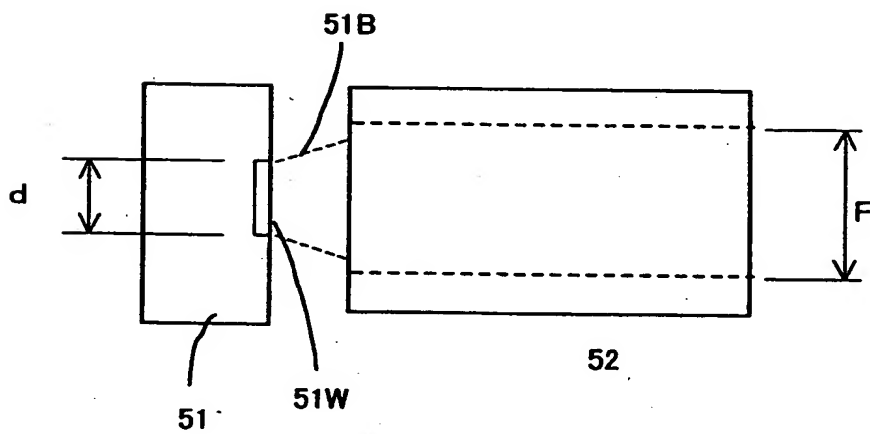
【図 3】



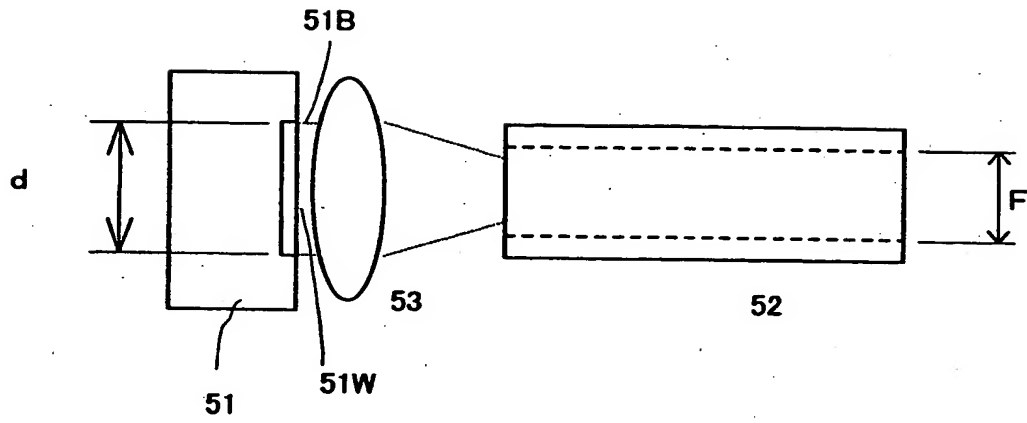
【図4】



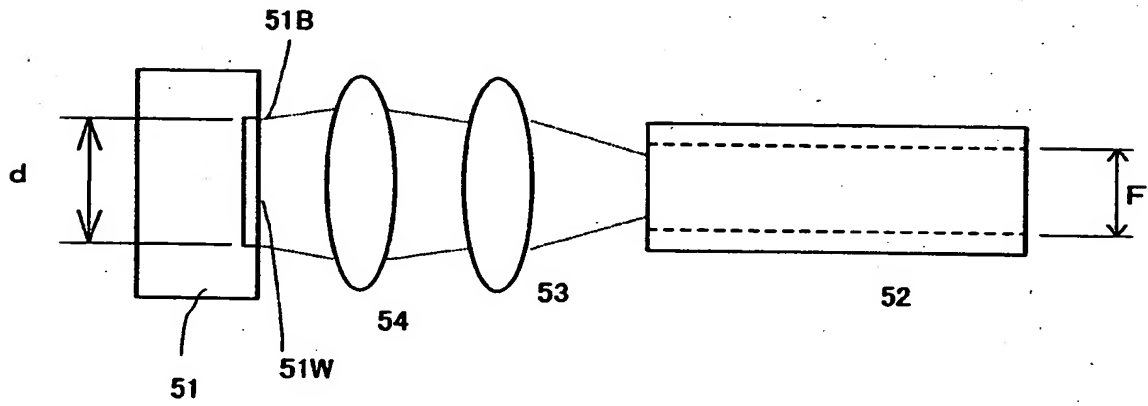
【図5】



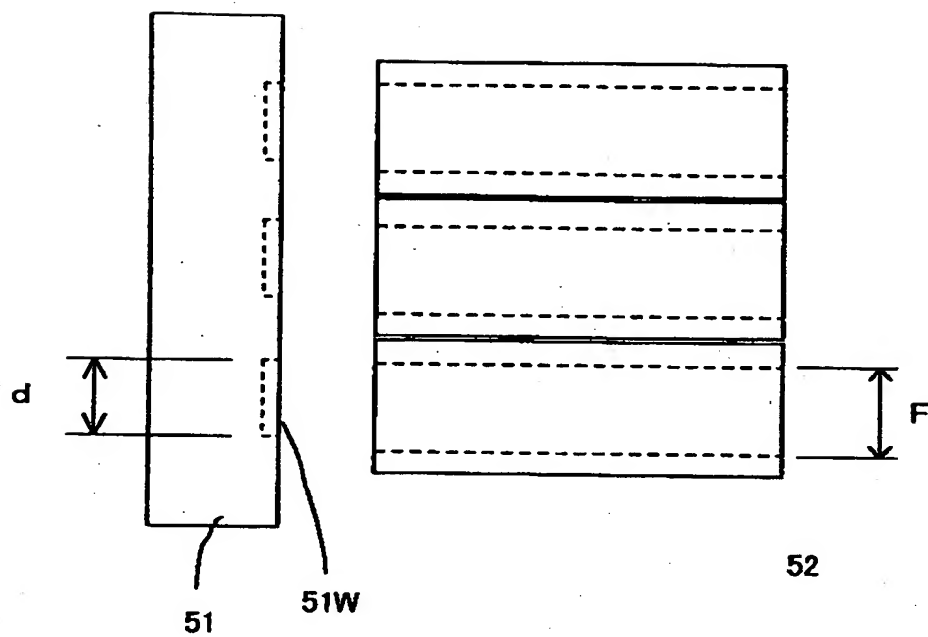
【図 6】



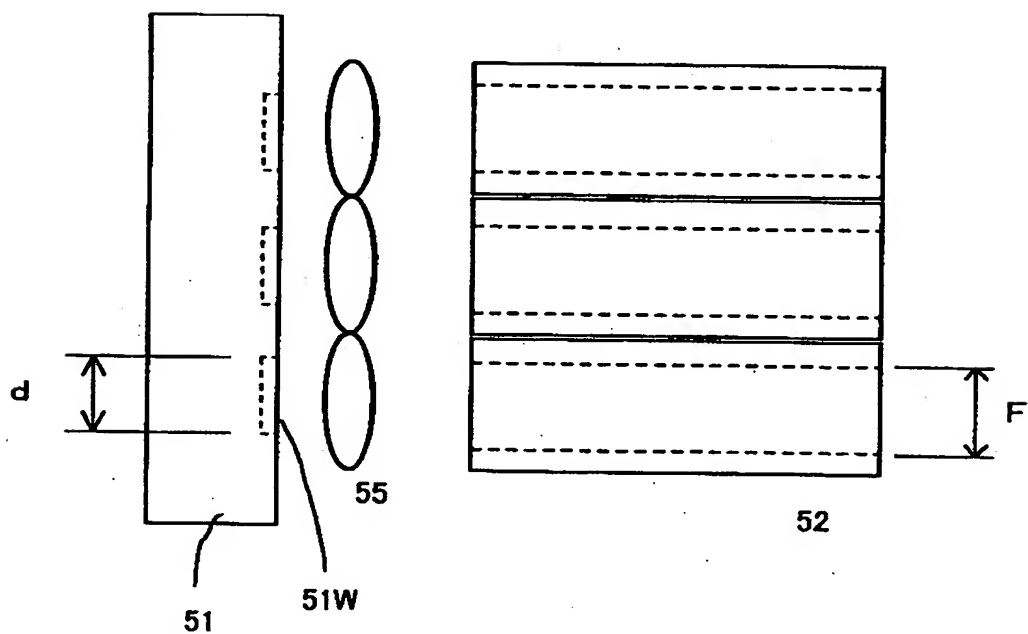
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 動作電圧、発振閾値電流などを低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ光が光ファイバに高効率にカップリング可能な光通信システムを提供する。

【解決手段】 レーザチップの発振波長が1.1 ～1.7 μm であり、光を発生する活性層の主たる元素を {Ga, In, N, As}、{Ga, In, As} のいずれかの群とし、活性層の上部および下部に設けた反射鏡を含んだ発信器構造を有し、反射鏡は構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化する半導体分布ブラッグ反射鏡で、屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とし、これらの層の間に屈折率が両者の間の材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けた面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とし、チップの光出射部に内接する円の直径 d と光ファイバのコア直径 F とを $F/d \leq 2$ の関係とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
氏 名 株式会社リコー